

УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕКТОРА СКОРОСТИ СЛАБОГО МЕТЕОРА

(предварительные соображения)

А. Н. КОЛЕСОВ

Постановка задачи

Проблемы исследования метеорного вещества и смежные проблемы требуют решения вопроса об измерении векторов скорости отдельных метеоров (как принадлежащих потокам, так и спорадических) радиотехническими средствами.

Наиболее существенными в этой области в настоящее время являются работы Дэвиса [1].

Метод Дэвиса основан, как известно, на определении модуля скорости метеорного тела по дифракционной картине и измерении временных запаздываний между дифракционными картинками, полученными в трех разнесенных пунктах.

Доцентом Е. И. Фиалко была предложена новая методика определения вектора скорости метеорного тела [2].

При использовании этой методики имеется в принципе возможность определения вектора скорости метеорного тела в том случае, когда не получается достаточно хорошей дифракционной картины, пригодной для определения по ней модуля скорости метеорного тела.

Ниже даны основные соотношения для этой методики и приводится блок-схемное решение ее.

Основные соотношения

Пусть в точке O (рис. 1) расположена пеленгационно-дальномерная установка, дающая координаты нормально отражающей точки следа— R , α , β , а в точке B —вынесенная установка, принимающая и передающая в точку O сигналы от зеркально отражающей точки следа 3 (мы здесь пренебрегаем тем фактом, что максимум отраженного сигнала соответствует концу первой зоны Френеля, а не середине его). Тогда, очевидно, радиус вектор \vec{R} (R , α , β) определит плоскость π (нормальную к R), в которой лежит метеорный след, а суммарная дальность $D = r_1 + r_2$, измеренная по сигналу, принятому на вынесенном пункте, определит эллипсоид вращения с фокусами в точках O и B . Пересечение этого эллипсоида с плоскостью π дает эллипс. Касательные к эллипсу, проведенные из точки нормального отражения O_1 , дадут возможные положения траектории метеора—

Выведем основные соотношения, связывающие измеряемые величины (R , α , β , D) с направляющими косинусами траектории следа по отношению к выбранной системе координат Ox , Oy , Oz (рис .1).

$$x \cdot \cos \gamma + y \cdot \cos \vartheta + z \cdot \cos \varepsilon - R = 0. \quad (1)$$
$$\frac{\left(x - \frac{d}{2}\right)}{\frac{D^2}{4}} + \frac{y^2}{\frac{D^2 - d^2}{4}} + \frac{z^2}{\frac{D^2 - d^2}{4}} = 1. \quad (2)$$
$$\cos \gamma = \cos \beta \cdot \cos \alpha,$$

$$\cos \delta = \cos \beta \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

$$\cos \varepsilon = \sin \beta.$$

Обозначим длину отрезка O_1z (O_1z') через l , а проекции его на оси Ox , Oy , Oz через l_x , l_y , l_z соответственно. Тогда интересующие нас направляющие косинусы траектории метеорного тела (m , n , p) по отношению к осям Ox , Oy , Oz выразятся соответственно как

$$m = \frac{l_x}{l}; \quad n = \frac{l_y}{l}; \quad p = \frac{l_z}{l}. \quad (4)$$

Для определения величины l и ее проекций l_x , l_y , l_z нужно найти координаты точек касания z и z' возможных траекторий метеорного тела к эллипсу Z (рис. 1). Это просто сделать, если перейти к вспомогательной системе координат O_1x_1 , O_1y_1 , O_1z_1 , которая выбирается следующим образом: начало новой системы координат помещается в точку нормального отражения O_1 , ось O_1z_1 совпадает по направлению с радиусом-вектором R (R , α , β), а ось O_1x_1 лежит в одной плоскости с осью Ox старой системы координат.

Переход к новой системе координат совершается путем переноса начала координат в точку O_1 ($x_{01} = R \cdot \cos \gamma$; $y_{01} = R \cos \delta$, $z_{01} = R \cdot \cos \varepsilon$) и поворота осей, даваемого табл. 1.

Уравнение плоскости (1) в новой системе координат, очевидно, запишется, как $z_1 = 0$. Учтя это, из (2) получим уравнение эллипса Z в новой системе координат в виде:

Таблица 1

| | Ox | Oy | Oz |
|-----------|---------------|--|---|
| $O_1 x_1$ | $\sin \gamma$ | $-\frac{\cos \gamma \cdot \cos \delta}{\sin \gamma}$ | $-\frac{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon}{\sin \gamma}$ |
| $O_1 y_1$ | 0 | $\frac{\cos \varepsilon}{\sin \gamma}$ | $-\frac{\cos \delta}{\sin \gamma}$ |
| $O_1 z_1$ | $\cos \gamma$ | $\cos \delta$ | $\cos \varepsilon$ |

$$Ax_1^2 + By_1^2 + Cx_1 + F = 0, \quad (5)$$

где

$$A = \frac{D^2 - d^2 \cdot \sin^2 \gamma}{4}; \quad B = \frac{D^2}{4};$$

$$C = -\frac{d}{4}(D^2 - d^2 + 2Rd \cos \gamma) \sin \gamma; \quad (5a)$$

$$F = \frac{1}{16}[4R^2D^2 - (D^2 - d^2 + 2Rd \cos \gamma)^2].$$

Уравнение касательной к эллипсу, очевидно, будет иметь вид:

$$(2Ax_{1k} + C)(X - x_{1k}) + 2By_{1k}(Y - y_{1k}) = 0. \quad (6)$$

Здесь x_{1k} , y_{1k} — координаты точек касания в новой системе координат; X , Y — текущие координаты касательной.

Полагая в (6) $X = Y = 0$ (касательные проходят через начало координат), получим вместе с (5) систему уравнений для определения координат точек касания:

$$2Ax_{1k}^2 + 2By_{1k}^2 + Cx_{1k} = 0,$$

$$Ax_{1k}^2 + By_{1k}^2 + Cx_{1k} + F = 0.$$

Отсюда получаем

$$x_{1k} = -\frac{2F}{C}; \quad y_{1k} = \pm \sqrt{\frac{C^2 F - 4AF^2}{BC^2}}. \quad (7)$$

Очевидно, что $l = \sqrt{x_{1k}^2 + y_{1k}^2} = \frac{1}{C} \sqrt{\frac{4BF^2 + C^2 F - 4AF^2}{B}}$.

Окончательно получаем:

$$l = \frac{R \sqrt{4R^2 D^2 - (D^2 - d^2 + 2Rd \cos \gamma)^2}}{(D^2 - d^2 + 2Rd \cos \gamma)}. \quad (8)$$

Возвращаясь к старой системе координат, получим выражения для проекций l :

$$l_x = x_{1k} \cdot \sin \gamma; \quad l_y = -\frac{\cos \gamma \cdot \cos \delta}{\sin \gamma} x_{1k} + \frac{\cos \varepsilon}{\sin \gamma} y_{1k};$$

$$l_z = -\frac{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon}{\sin \gamma} x_{1k} - \frac{\cos \delta}{\sin \gamma} y_{1k}.$$

Подставляя полученные выражения в (4) и учитывая (7) и (5а), получим выражения для направляющих косинусов:

$$m = \frac{\sqrt{4R^2 D^2 - (D^2 - d^2 + 2Rd \cos \gamma)^2}}{2Rd};$$

$$n_{1,2} = -\frac{\cos \gamma \cdot \cos \delta}{\sin^2 \gamma} m + \frac{\cos \varepsilon}{\sin^2 \gamma} (\pm \sqrt{\sin^2 \gamma - m^2}); \quad (9)$$

$$p_{1,2} = -\frac{\cos \gamma \cdot \cos \varepsilon}{\sin^2 \gamma} m - \frac{\cos \delta}{\sin^2 \gamma} (\pm \sqrt{\sin^2 \gamma - m^2}).$$

Здесь $\cos \gamma$, $\cos \delta$, $\cos \varepsilon$ определяются через α и β по соотношениям (3).

Переход от направляющих косинусов следа, даваемых соотношениями (9), к любой из астрономических систем координат не представляет труда. Разумеется, что для этого необходимо фиксировать время появления отражения от метеорного следа.

Что касается определения модуля скорости метеорного тела, то он может быть определен, если дополнительно измерить временной сдвиг T между дифракционными картинками, полученными на основном и вынесенном пунктах (аналогично измерениям Дэвиса [1]). Действительно, за время T , очевидно, происходит формирование участка следа длиной l , определяемой (8). Отсюда получаем:

$$|v| = \frac{l}{T}, \quad (10)$$

где $|v|$ — модуль скорости метеорного тела. Разумеется, что при качественных дифракционных картинках модуль скорости можно получать так же, как это делал Дэвис.

Блок-схема установки

Из выше рассмотренного становится ясным требуемый состав блок-схемы установки для определения вектора скорости слабого метеора.

В вынесенном пункте I должны находиться приемное устройство 1 (рис. 2) для приема отраженных от следа сигналов и передатчик 2 с амплитудно-импульсной модуляцией для ретрансляции принятых сигналов на основной пункт (место расположения пеленгационно-дальномерной установки).

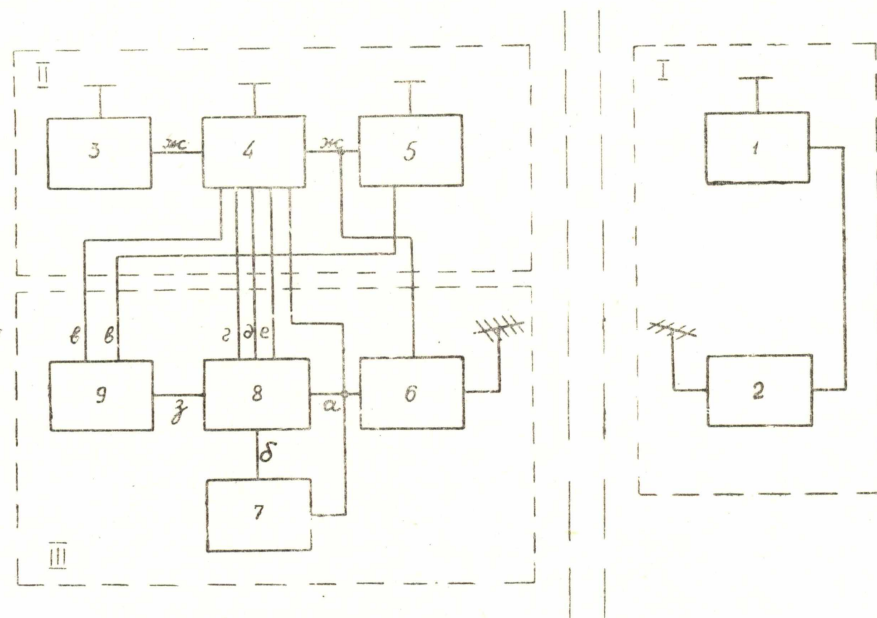


Рис. 2. Блок-схема установки для определения вектора скорости метеорного тела.

В основном пункте находится сама пеленгационно-дальномерная установка II, в состав которой входит передатчик 3, облучающий метеорный след; приемно-индикаторная дальномерная часть 4 и приемно-индикаторная угломерная часть 5. Как уже выше упоминалось, пеленгационно-дальномерная установка измеряет дальность R и угловые координаты α и β нормально отражающей точки следа.

В основном пункте находится также приставка III к пеленгационно-дальномерной установке. В ее состав входит приемное устройство 6 для приема ретранслированных с вынесенного пункта сигналов; дискриминатор 7 для отделения сигналов от помех; индикаторное устройство 8 для индикации дифракционных картин, образуемых как сигналами, принятыми основным пунктом, так и сигналами, поступившими с вынесенного пункта; блок фотосинхронизации 9, осуществляющий синхронную работу фотоприставок, регистрирующих дальность R , суммарную дальность D , угловые координаты α и β , дифракционные картины.

На рис. 2 показаны также основные линии связи между отдельными частями блок-схемы, поясняющие взаимодействие их.

Линии „Ж“ показывают цепи синхронизации работы всего основного пункта в целом. Линии „а“ показывают пути принятых с вынесенного пункта сигналов. Эти сигналы поступают на дальномерную часть 4 для получения отметки суммарной дальности на отметчиках

дальности, на дискриминатор 7 для получения отделённых от помех импульсов подсвета сигналов и запуска развертывающего устройства индикатора дифракционных картин 8, на отклоняющие пластины одной из трубок индикатора дифракционных картин. Линия „б“ показывает путь дискриминированного сигнала. Линия „з“ показывает путь сигнала фотосинхронизации, поступающего с индикатора дифракционных картин 8 на блок фотосинхронизации 9. Линии „в“ показывают путь сигналов фотосинхронизации и подсветов, вырабатываемых блоком 9. По линиям „г“ и „д“ с дальномерной части 4 поступают на индикатор дифракционных картин 8 импульсы запуска развертывающего устройства индикатора 8, импульсы подсвета сигналов, принятых основным пунктом, и сами сигналы. По линии „е“ с индикатора 8 на пеленгационно-дальномерную установку поступают импульсы подсвета сигналов, принятых с вынесенного пункта.

Развертывающее устройство индикатора 8 запускается либо импульсами основного, либо импульсами вынесенного пункта, в зависимости от того, где сигнал появится раньше. Развертывающее напря-

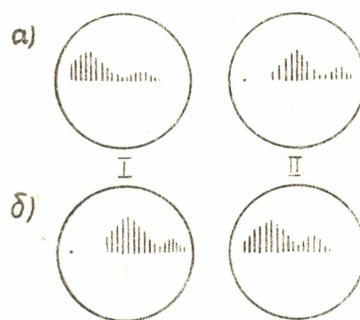


Рис. 3. I—экран индикатора дифракционных картин, получаемых с основного пункта. II—экран индикатора дифракционных картин, получаемых с вынесенного пункта. Случай „а“ соответствует движению метеорного тела со стороны основного пункта; случай „б“ соответствует движению метеорного тела со стороны вынесенного пункта.

жение для отметчиков дифракционных картин как основного, так и вынесенного пунктов общее. Поэтому относительно начала развертки дифракционные картины на отметчиках будут располагаться различно, в зависимости от того, движется ли метеорное тело со стороны основного или со стороны вынесенного пункта. Это дает дополнительную информацию, облегчающую обработку результатов измерений. Примерный вид экранов отметчиков для различных направлений движения метеорного тела показан на рис. 3.

На время существования развертки в индикаторе 8 подсветы всех регистрируемых в основном пункте сигналов поступают на электронно-лучевые трубки и происходит фоторегистрация сигналов фотоприставками, затворы которых все время открыты. После окончания развертки в индикаторе 8 доступ подсветам на отметчики прекращается, производится автоматическая смена кадров в фотоприставках, и установка снова готова к приему следующего отражения от метеора.

Содержание общей блок-схемы при наличии второго вынесенного пункта теперь становится очевидным.

Заключение

1. Рассмотренная методика позволяет определять вектор скорости слабого метеора (даже тех, которые не дают четко выраженной дифракционной картины).

2. В связи с реализацией рассмотренной методики необходимо рассмотрение следующих вопросов: а) определение требуемых точностей измерений всех величин, необходимых для определения вектора скорости метеорного тела; б) определение зон пространства, в которых при рассматриваемой методике и при данных точностях измерений возможно с допустимой погрешностью определение вектора скорости метеорного тела; в) разработка методики обработки

результатов измерений (куда входят и вопросы устранения неоднозначности, получающейся при наличии лишь одного вынесенного пункта).

В дальнейшем будут опубликованы результаты рассмотрения вопросов, поставленных в пункте 2 заключения, а также результаты эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Davies, J. C. Gill. Monthly notices of the Royal Astr. Society, v. 116 N 1, pp. 105—113, 1956.

2. Е. И. Фиалко. К вопросу об определении скоростей и радиантов спорадических метеоров, Бюллетень комиссии по кометам и метеорам Астросовета АН СССР, (в печати), 1958.
